



# Formation

## Efficacité énergétique dans l'industrie

du 21 au 25 Février 2017

# Pertes d'énergie

Les pertes les plus importantes:

- Les Pertes dues aux purgeurs de vapeur.
- Les pertes de chaleur dues a la tuyauterie,
- Les fuites,
- Les pertes de vapeur Instantanée,
- L'évacuation des condensats aux drains.
- Les pertes dues au système.

# Pertes dues aux purgeurs de vapeur

- Difficiles à déceler.
- Ces pertes sont généralement causées par:
  - Le mauvais fonctionnement d'un purgeur (fuite).
  - La mauvaise sélection ou dimension du purgeur et son mauvais emplacement.
- Dans un système de distribution de vapeur : 25% de défectuosité des purgeurs par année.
- Les pertes d'un purgeur défectueux représente de 5 à 50% de sa capacité nominale.

# Pertes dues aux purgeurs de vapeur

PERTE DE VAPEUR PAR LES ORIFICES ÉVACUANT À L'ATMOSPHÈRE

TABLE 5

Diamètre de l'orifice, po	Perte de vapeur, lb/h lorsque la pression effective de la vapeur est de:													
	2 lb/po <sup>2</sup>	5 lb/po <sup>2</sup>	10 lb/po <sup>2</sup>	15 lb/po <sup>2</sup>	25 lb/po <sup>2</sup>	50 lb/po <sup>2</sup>	75 lb/po <sup>2</sup>	100 lb/po <sup>2</sup>	125 lb/po <sup>2</sup>	150 lb/po <sup>2</sup>	200 lb/po <sup>2</sup>	250 lb/po <sup>2</sup>	300 lb/po <sup>2</sup>	
1/32	0.31	0.49	0.70	0.85	1.14	1.86	2.58	3.3	4.02	4.74	6.17	7.61	9.05	
1/16	1.25	1.97	2.8	3.4	4.6	7.4	10.3	13.2	16.1	18.9	24.7	30.4	36.2	
3/32	2.81	4.44	6.3	7.7	10.3	16.7	15.4	29.7	36.2	42.6	55.6	68.5	81.5	
1/8	4.5	7.9	11.2	13.7	18.3	29.8	41.3	52.8	64.3	75.8	99.0	122.0	145.0	
5/32	7.8	12.3	17.4	21.3	28.5	46.5	64.5	82.5	100.0	118.0	154.0	190.0	226.0	
3/16	11.2	17.7	25.1	30.7	41.1	67.0	93.0	119.0	145.0	170.0	222.0	274.0	326.0	
7/32	15.3	24.2	34.2	41.9	55.9	91.2	126.0	162.0	197.0	232.0	303.0	373.0	443.0	
1/4	20.0	31.6	44.6	54.7	73.1	119.0	165.0	211.0	257.0	303.0	395.0	487.0	579.0	
9/32	25.2	39.9	56.5	69.2	92.5	151.0	209.0	267.0	325.0	384.0	500.0	617.0	733.0	
5/16	31.2	49.3	69.7	85.4	114.0	186.0	258.0	330.0	402.0	474.0	617.0	761.0	905.0	
11/32	37.7	59.6	84.4	103.0	138.0	225.0	312.0	399.0	486.0	573.0	747.0	921.0	1095.0	
3/8	44.9	71.0	100.0	123.0	164.0	268.0	371.0	475.0	578.0	682.0	889.0	1096.0	1303.0	
13/32	52.7	83.3	118.0	144.0	193.0	314.0	436.0	557.0	679.0	800.0	1043.0	1286.0	1529.0	
7/16	61.1	96.6	137.0	167.0	224.0	365.0	506.0	647.0	787.0	928.0	1210.0	1492.0	1774.0	
15/32	70.2	111.0	157.0	192.0	257.0	419.0	580.0	742.0	904.0	1065.0	1389.0	1713.0	2037.0	
1/2	79.8	126.0	179.0	219.0	292.0	476.0	660.0	844.0	1028.0	1212.0	1580.0	1949.0	2317.0	

Conversion métrique

1 lb/h = 0.4536 kg/h

1 po = 25.4 mm

1 lb/po<sup>2</sup> = 6.897 kPa

# Pertes dues aux purgeurs de vapeur

Le gaspillage annuel d'énergie provenant d'un purgeur qui fuit est donné par:

$$Q = f_s \times h_{fg} \times h$$

- $Q$  = Perte d'energie (kJ/an).
- $f_s$  = Taux de fuite de vapeur (kg/h) (table 5).
- $h_{fg}$  = Chaleur latente de la vapeur à la pression du système
- (kJ/kg)
- $h$  = Durée de fonctionnement (h) par année..

# Pertes dues aux purgeurs de vapeur

Exemple:

la quantité approximative d'énergie gaspillée en raison des fuites d'un seul purgeur:

- Coût de la vapeur (Cs) 220 Dh/l 000 kg
- Diamètre de l'orifice du purgeur 3,2 mm.
- Pression de la vapeur 690 kPa (eff.)

## Pertes dues aux purgeurs de vapeur

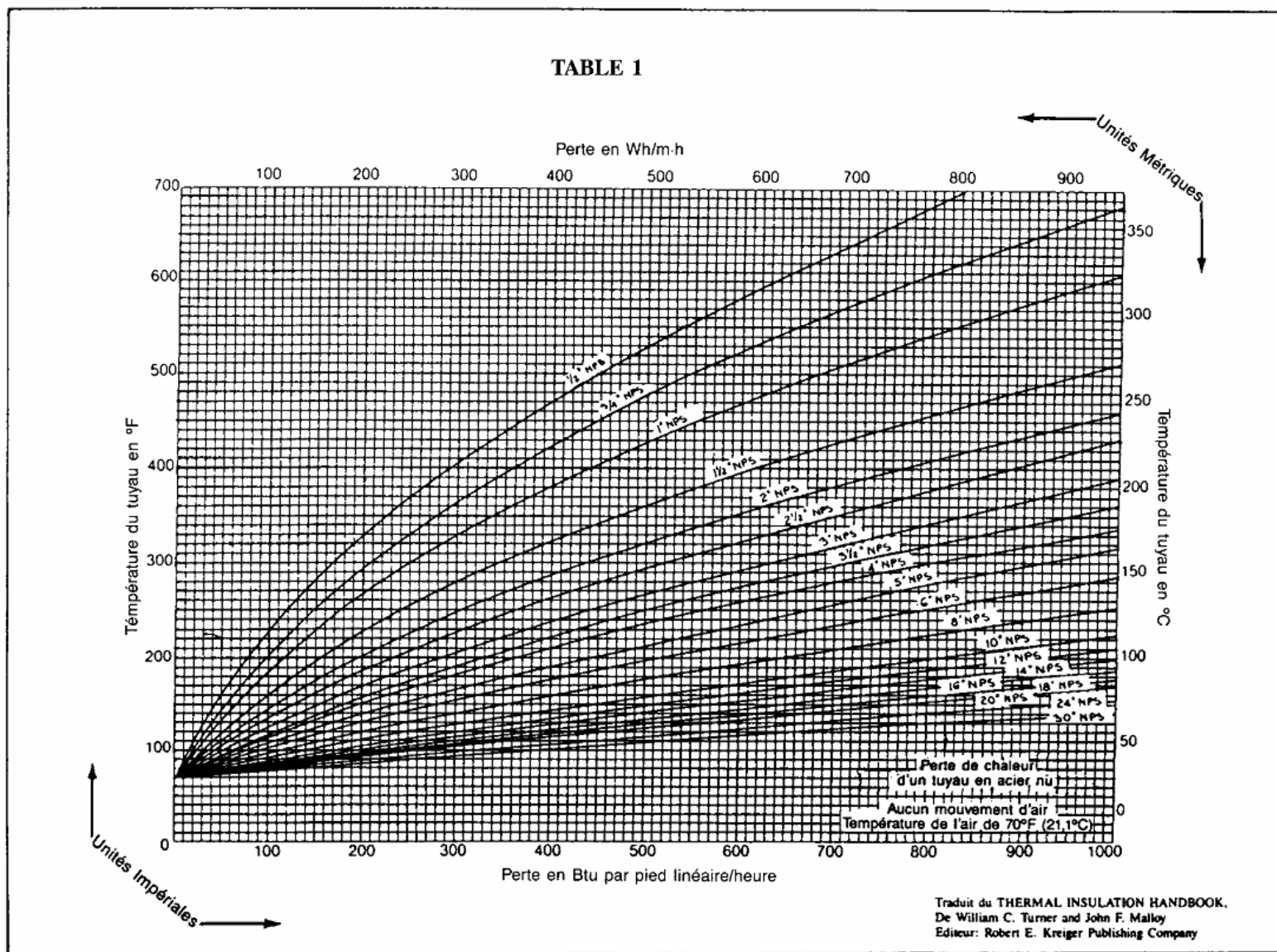
- Chaleur latente de la vapeur à 690 kPa (eff.) ( $h_{fg}$ )  
2 047,9 kJ/kg (table 1)
- Heures de service par année 8 760 heures.
- Selon la table 5, on obtient une perte de vapeur de 24 kg/h
- La perte d'énergie totale peut être calculée. :

$$\begin{aligned} Q &= f_s \times h_{fg} \times h \\ &= 24 \text{ kg/h} \times 2\,047,9 \text{ kJ/kg} \times 8\,760 \text{ h/an} \\ &= 430,6 \times 10^6 \text{ kJ/an.} \end{aligned}$$

- Le coût de la perte d'énergie peut être calculé comme suit:

$$\begin{aligned} \text{Coût} &= 24 \text{ kg/h} \times 8\,760 \text{ h/an} \times 0,22 \text{ Dh/kg} \\ &= 4\,6250 \text{ Dh/an} \end{aligned}$$

# Pertes dues aux tuyaux et raccords non isolés





**Perte thermique des vannes et brides en équivalent de longueur de tuyauterie de même diamètre non isolée**

*Source : AIB*

<b>Accessoire</b>	<b>Longueur équivalente de tuyauterie</b>
<b>Vanne non isolée</b>	<b>1,7 m</b>
<b>Vanne isolée (6 cm de laine)</b>	<b>0,17 m</b>
<b>Paire de brides</b>	<b>0,9 m</b>
<b>Paire de brides isolée (6 cm de laine)</b>	<b>0,06 m</b>

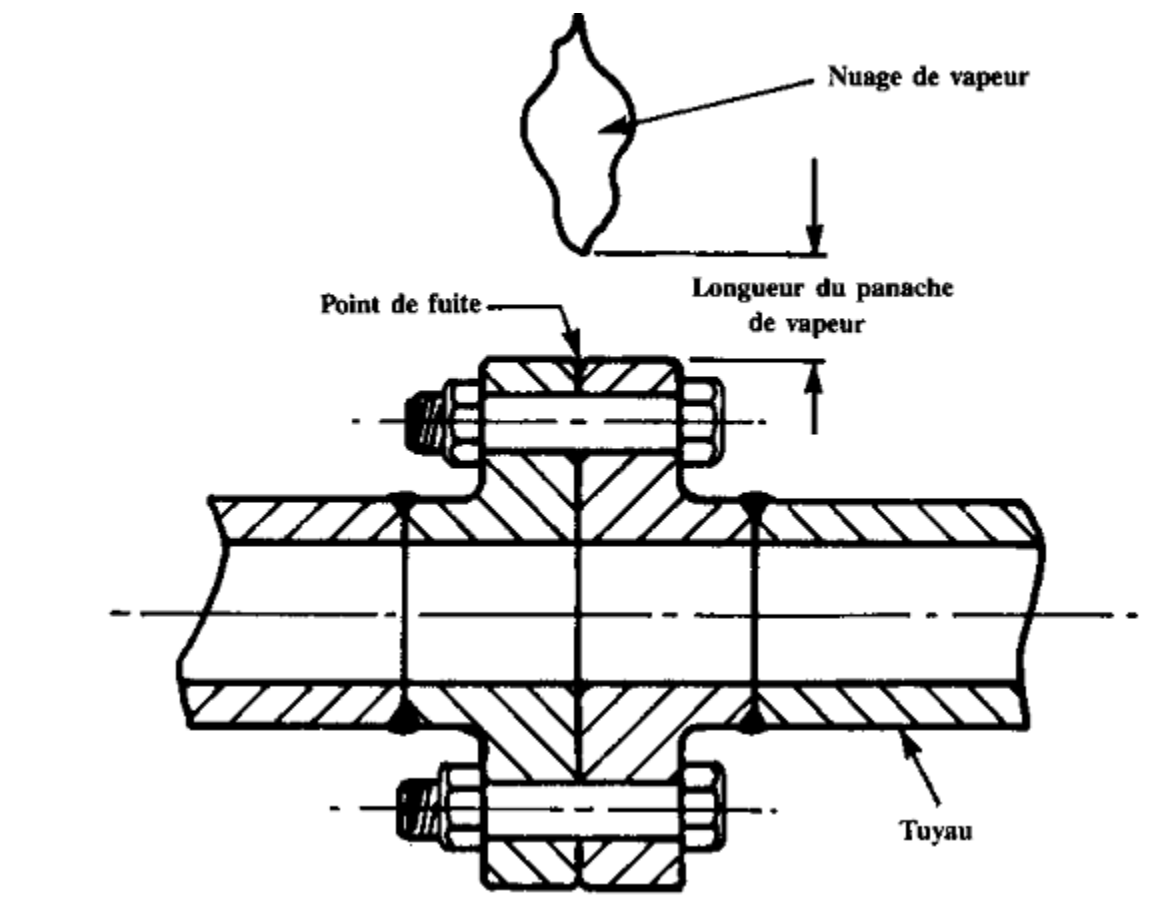
## Exemple:

- Considérons par exemple un système de distribution de vapeur de NPS 6 doté de 10 paires de brides non isolées.
- La longueur équivalente de tuyauterie nue de NPS 6 peut être calculée comme suit:  
Longueur équivalente = 10 paires de brides x 610 mm par paire  
= 6 100 mm ou 6,1 m.

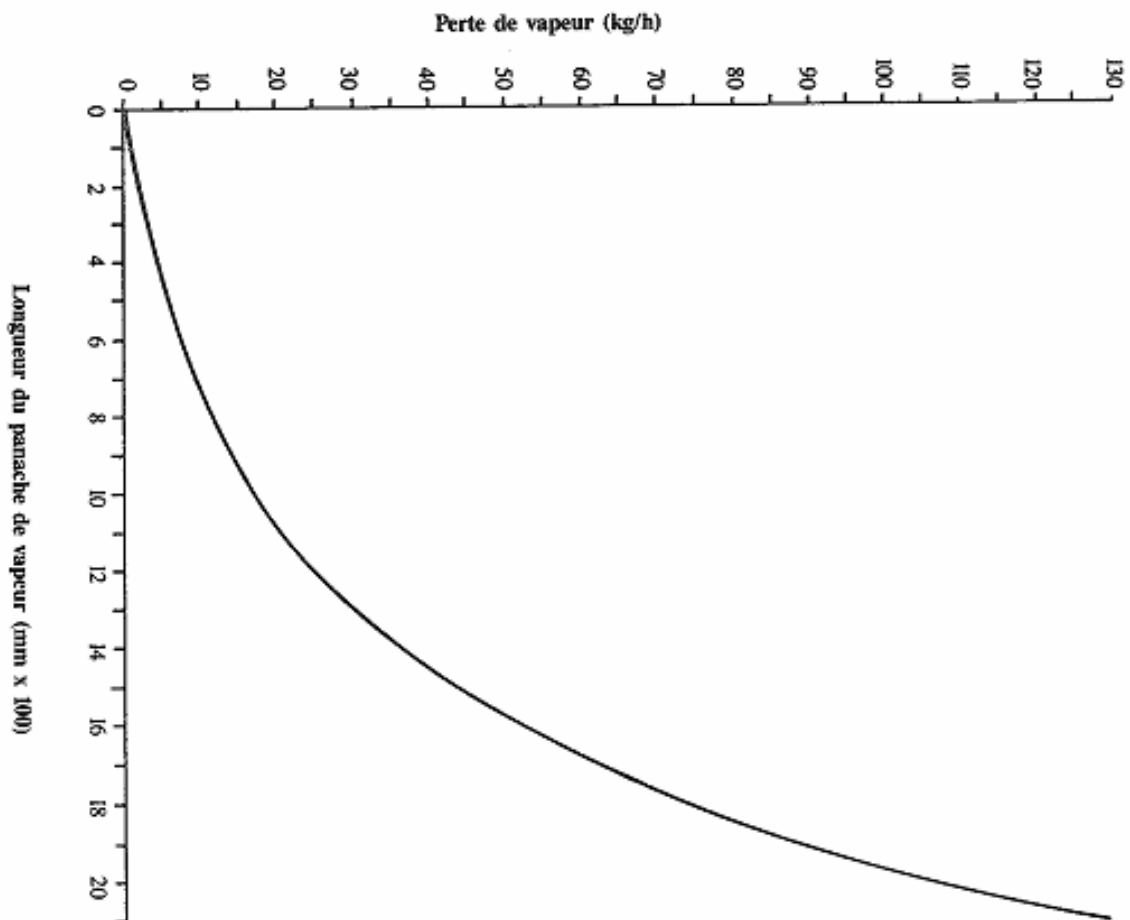
- T de surface du tuyau: 121°C
- Nb heures de fonctionnement: 8 760 heures par année.
- ✓ Table 1 donne: Pertes en W/m/h: 600 W/m.
- ✓ Pertes annuelle: 32 061 600 Wh/an.
- ✓ Enthalpie de la vapeur en 121°C: 2707 kJ/kg. Soit 752 Wh/kg.
- ✓ Soit 42,635 Tonnes de vapeur.

# Fuites

- Chaque fuite aux raccordements de tuyaux et de vannes d'un système de distribution représente des pertes d'argent par le gaspillage d'énergie.
- On peut avoir une idée des pertes horaires de la vapeur dues aux fuites en se servant de la table 7. On mesure la longueur du panache de vapeur, soit la distance approximative entre la source de fuite et le point où la vapeur se condense en eau.(voir figure)



PERT HORAIRE DE VAPEUR DUE AUX FUITES EN FONCTION  
DE LA LONGUEUR DE PANACHE  
TABLE 7



# Utilisation de la vapeur

- L'utilisation efficace de la vapeur dépend de la température à laquelle le condensat quitte les appareils desservis, soit de l'efficacité avec laquelle ces appareils terminaux extraient l'énergie de la vapeur.

Exemple:

- Considérons la vapeur saturée alimentant un échangeur de chaleur avec un débit de 600 kg/h à 1600 kPa (abs).
- T mesurée du condensat de L'échangeur aux purgeurs de vapeur est de 190°C.

On peut calculer l'énergie d'alimentation à l'échangeur de chaleur comme suit:

$$\begin{aligned}\text{Énergie d'alimentation} \quad (Q_t) &= f_s \times h_g \\ &= 600 \times 2\,791.7 \\ &= 1,675 \times 10^6 \text{ kJ/h.}\end{aligned}$$

l'énergie du condensat évacuée par l'échangeur de chaleur:

$$\begin{aligned}\text{Énergie évacuée} &= f_s \times h_f \\ &= 600 \times 807,52 \\ &= 0,485 \times 10^6 \text{ kJ/h}\end{aligned}$$



L'énergie utilisée par l'échangeur de chaleur:

- Énergie utilisée ( $Q_u$ ) = énergie d'alimentation - énergie évacuée soit  $1,19 \cdot 10^6 \text{ kJ/h}$ .
- Pourcentage d'énergie utile :  $\frac{Q_u}{Q_t} \times 100$
- Soit 71,04%

# Utilisation de la vapeur instantanée

- L'exemple précédent démontre que 71,04% de l'énergie produite par le système à vapeur a été utilisé par l'échangeur de chaleur.
- Il est toutefois possible d'accroître l'efficacité du système en utilisant la vapeur instantanée récupérée ou comme source d'appoint dans un système basse pression.

Le pourcentage de vapeur instantanée contenue dans le condensat à 190°C (1255 kPa(abs)).

- Enthalpie du condensat ( $h_{f1}$ ) à 190°C [1255 kPa (abs.)]  
807,52 kJ/kg.
- Enthalpie du condensat ( $h_{f2}$  à 169 kPa (abs.)  
482,5 kJ/kg.
- Chaleur latente de vaporisation contenue dans la vapeur ( $h_{fg2}$ ) à 169 kPa (abs.)      2 216,2 kJ/kg.
- % de vapeur instantanée = 14.7%.

Ce qui donne 88,2 kg/h de vapeur à 169 kPa (abs).

l'énergie contenue dans la vapeur instantanée ( $Q_a$ ) récupérable.

$$Q_a = 0,21 \cdot 10^6 \text{ kJ/h.}$$

- Énergie d'alimentation totale fournie ( $Q_t$ )  
=  $1,675 \times 10^6$  kJ/h (déjà calculée).
- Énergie utilisée par l'échangeur de chaleur  
=  $1,19 \times 10^6$  kJ/h (déjà calculée).
- Énergie contenue dans la vapeur instantanée ( $Q_a$ )  
=  $0,21 \times 10^6$  kJ/h (déjà calculée).
- Énergie totale utilisée =  $(1,19 \times 10^6) + (0,21 \times 10^6)$   
=  $1,4 \times 10^6$  kJ/h. soit  $\frac{1,4 \times 10^6}{1,675 \times 10^6} \times 100 = 83,58\%$

# Récapitulatif

			Sans récupération de	Avec récupération
Paramètres			vapeur instantanée	de vapeur instantanée
Débit de vapeur			600 kg/h	600 kg/h
Température de vapeur			201,37oC	201,37oC
Pression de vapeur			1 600 kPa (abs.)	1 600 kPa (abs.)
Pression du réservoir de détente			Sans réservoir de détente,	169 kPa (abs.)
			soit 101,325 kPa (abs.)	
% vapeur instantanée			-	14,70%
Vapeur instantanée récupérée			-	88,2 kg/h a 169 kappa (abs.)
Enthalpie de la vapeur Instantanée			-	0,21 x 10 <sup>6</sup> kJ/h
Energie d'alimentation totale			1,675 x 10 <sup>6</sup> kJ/h	1,675 x 10 <sup>6</sup> kJ/h
Energie utile totale			1,19 x 10 <sup>6</sup> kJ/h	1,40 x 10 <sup>6</sup> kJ/h
Pourcentage d'énergie utile			FORMATION-VAPEUR M.MADA 71,04%	83,58%

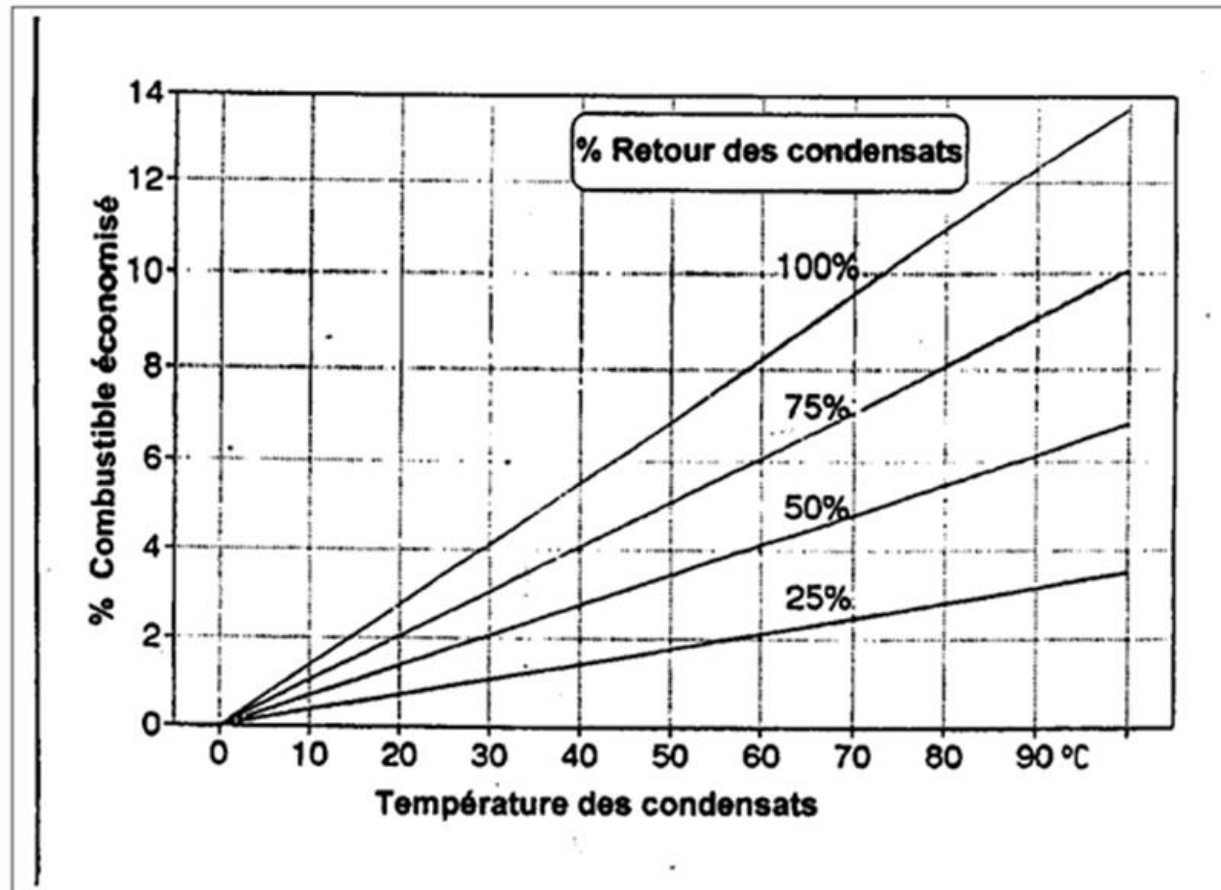
# Possibilités d'amélioration à faible coût.

## 1- Récupération de condensats.

- La récupération des condensats doit être maximale sous réserve qu'il n'y a aucun risque de contamination.(économie de l'énergie, de l'eau, le coût de traitement des eaux).

# Récupération des condensats

- Exemple : l'augmentation du taux de retour de condensats de 25% à 100%,
  - l'économie en combustible, réalisée au niveau de la chaudière serait de l'ordre de  $12,5 - 3,5 = 9\%$ .





# RENTABILITE ECONOMIQUE

## A. Retour à la chaudière (T,P)

- Haute qualité d'eau
  1. Réduction de la consommation de fioul
  2. Réduction des purges au niveau de la chaudière
  3. Réduction de la consommation d'eau d'appoint
  4. Réduction du coût de traitement

# ASPECTS LIES A LA RECUPERATION DES CONDENSATS

## ■ Pertes d'énergie

- Réseau du transport
- Bâche de récupération
- Pertes par la revaporisation

## ■ La récupération des condensats doit prendre en considération:

- L'agencement général du réseau
- Le dimensionnement de la tuyauterie
- La circulation des condensats
- Le pompage
- La corrosion

# Isoler les brides et les raccords nus

Si lors d'une analyse de passage nous avons remarqué que 40 brides d'un réseau de distribution de vapeur saturé de NPS 4 fonctionnant à 700,8 kPa (abs.) n'étaient pas isolées.

- Le gaspillage d'énergie peut être calculé comme suit :
  - Longueur équivalente d'une paire de brides :  
610 mm.
  - Nombre d'heures de fonctionnement par an : 8760.
  - La longueur équivalente de 40 brides est :  
 $40 \times 610 / 2 = 12,2$  m.
  - La température de la vapeur à 700,8 kPa(abs) est  
165°C.

- De la table 7 on peut déterminer la perte de chaleur par heure à 165°C : 790 Wh/m.
- Donc pour 12,2 m, la perte thermique est de  $790 \times 12,2 = 9,64$  kWh.
- La perte thermique annuelle est de  $84,43 \times 10^3$  kWh soit  $303,94 \times 10^6$  kJ, ce qui correspond à une perte en vapeur par année de :  $303,94 \times 10^6 / 2762$  (Enthalpie de la vapeur saturée à 700,8 kPa(abs)) = 110,043 Tonnes.

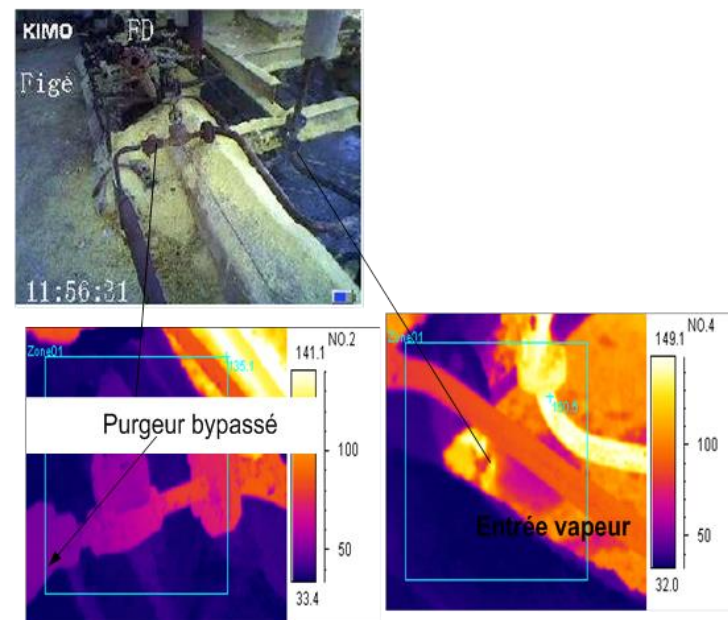
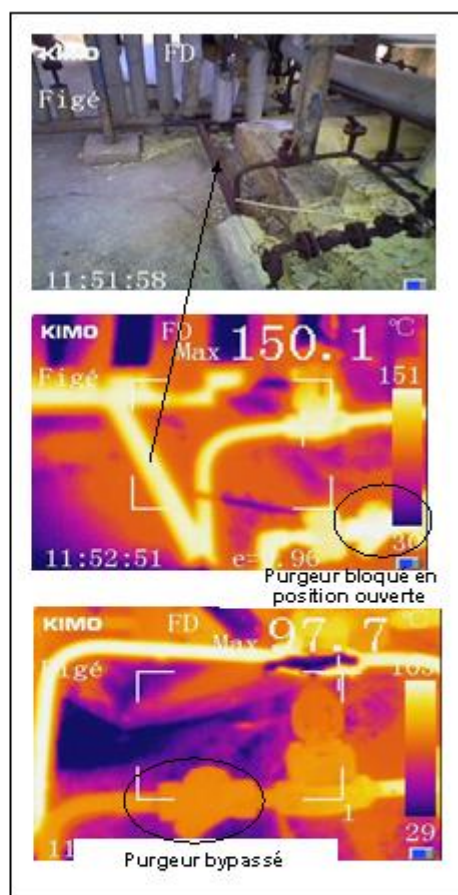
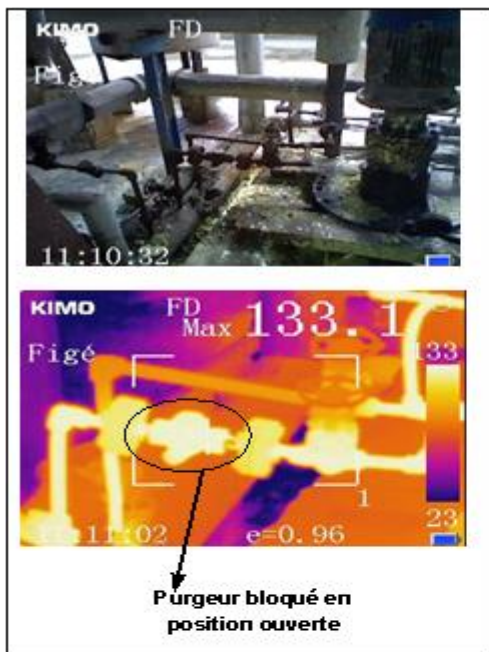
## Isoler la tuyauterie nue

- Une conduite de vapeur saturé de NPS 2 fonctionnant à 600 kPa (abs.) n'était pas isolée sur une longueur de 60 mètres. Cette canalisation fonctionnait 8 400 heures par année.
  - T de la vapeur à 600 kPa (abs.): 158,84°C.
  - Selon la table 6, la perte de chaleur par heure par mètre de longueur pour un tuyau de NPS 2 à 158,84°C est égale à 490 Wh/ (m-h).
- Perte annuelle de chaleur d'un tuyau non isolé =  
 $490 \times 60 \times 8400 = 246,96 \times 10^6 \text{ Wh/an}$

- Si ce tuyau était recouvert de 51 mm de fibre de verre; La perte de chaleur par heure et par mètre baisserait à 24 Wh/ (m.h).
- Une réduction de  $234,864 \times 10^6$  Wh/an, soit  $845,51 \times 10^6$  kJ/an.
- L'enthalpie de la vapeur saturée à 600 kPa (abs) : 2755,5 kJ/kg, ce qui donne une perte de vapeur équivalente de 306,844 Tonne/an

# Remplacer ou réparer les purgeurs de vapeur fuyants

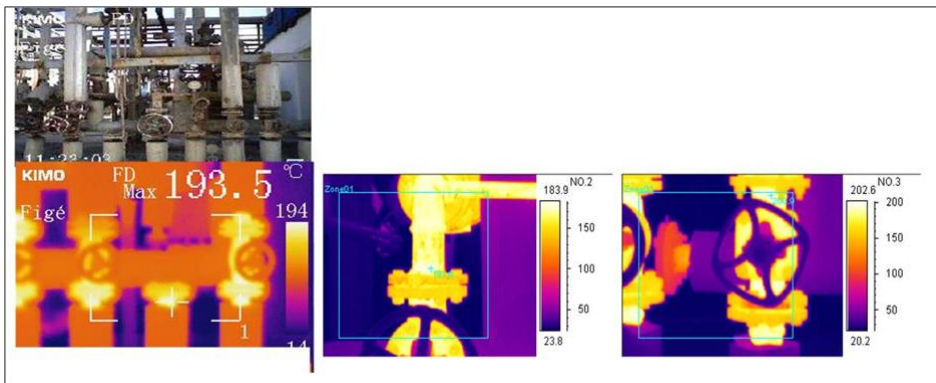
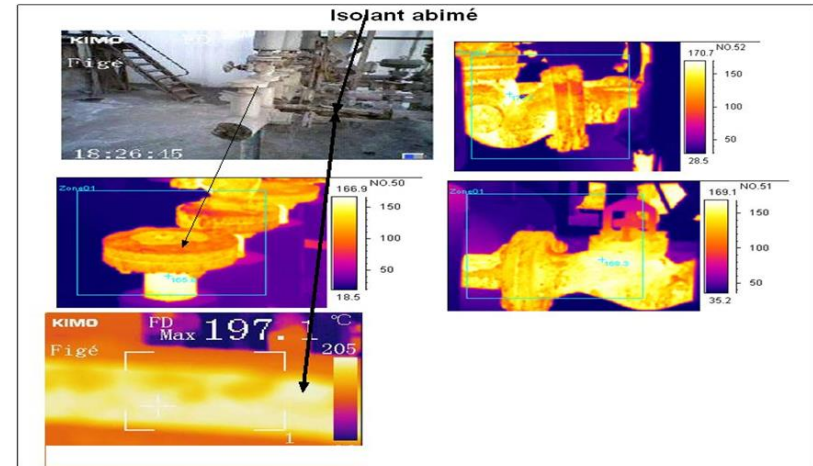
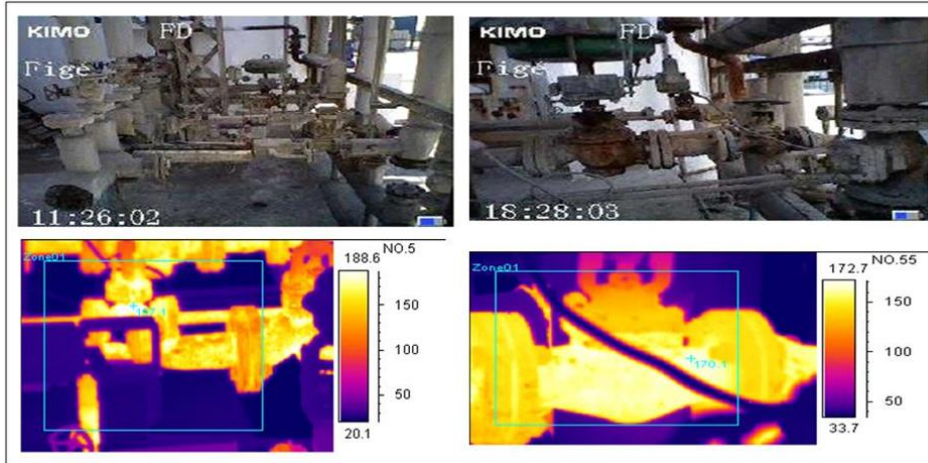
- Un purgeur de vapeur, dont l'orifice était de 3,17 mm, installé sur un système de chauffage à vapeur fonctionnant à 205 kPa (abs.).





- le purgeur était bloqué à la position ouverte et ainsi laissait s'échapper la vapeur dans le système de retour des condensats.
- Selon la table 5, on a pu établir que les pertes par le purgeur étaient de 6,2 kg par heure. Le système de chauffage de l'installation fonctionnait 8000 heures par année et le coût de la vapeur était de 300 Dh/l 000 kg.
  - Vapeur provenant du purgeur fuyant =  $6,2 \text{ kg/h} \times 8000 \text{ h/an} = 49\,600 \text{ kg/an}$ .
  - Soit 15 000 Dh /purgeur.

# Réparer l'isolant endommagé



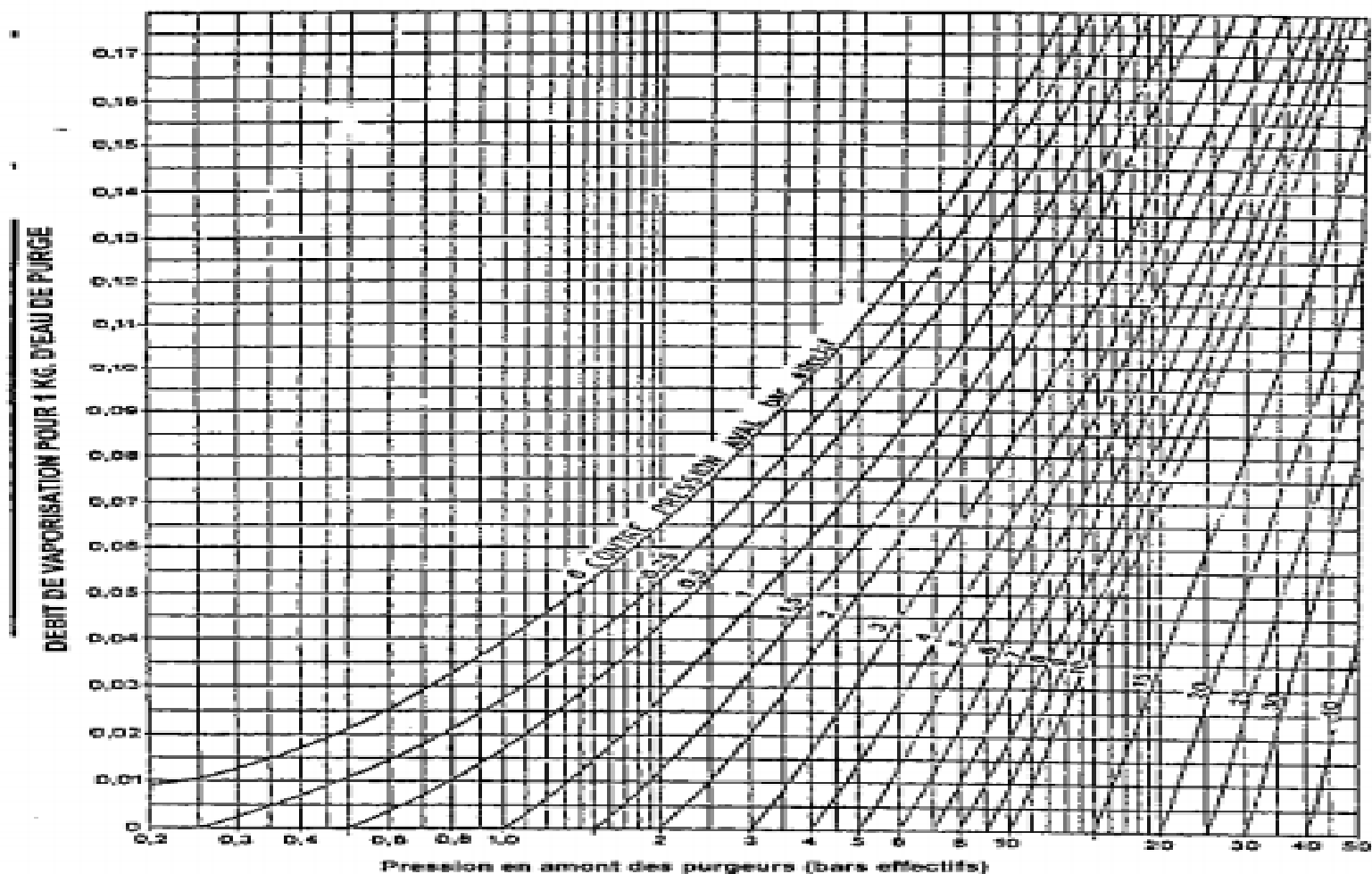
- ❑ L'équivalent longueur totale des accessoires est de 47,2m, et les pertes totales sont de 23,6 kW.
  
- ❑ Une bonne isolation des accessoires (Température de surface  $< 50^{\circ}\text{C}$ ) donnerait comme pertes 3,8 kW, ce qui se traduit par un gain de 19,8 kW. Le gain en combustible peut se calculer en divisant par le rendement de la chaudière (0,78) et le PCI du fuel, ce qui donne 2,23 kg de fuel par heure. Si on suppose un fonctionnement annuel de 8000 heures, le gain serait de 17,84 T de fuel. par an

# Récupérer la vapeur instantanée

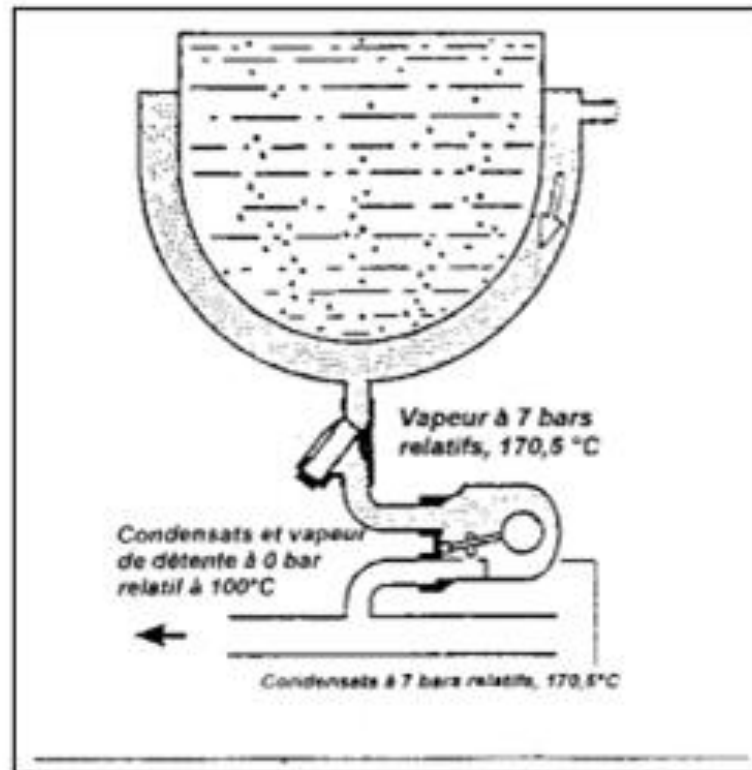
- Si on considère un serpentin où la vapeur se condense à 7 bars, les condensats obtenus seront donc à une température de 170.5 °C.
- Si le serpentin est équipé d'un purgeur à flotteur, ces condensats seront évacués à la même température.
- Dans le cas d'utilisation d'un purgeur thermostatique, les condensats subiront un sous refroidissement, mais leur température restera supérieure à 100°C.
- Quand leur pression chute dans la tuyauterie ou dans la bêche de récupération, la température des condensats doit diminuer pour s'ajuster à la nouvelle pression. L'excès de chaleur dû à cette chute de température, servira à une revaporisation partielle des condensats.

**Figure 2**

**Débit de vapeur de détente  
pour 1 kg de condensats**



### Vapeur de détente générée à partir de condensats à haute pression



- **Exemple I :**

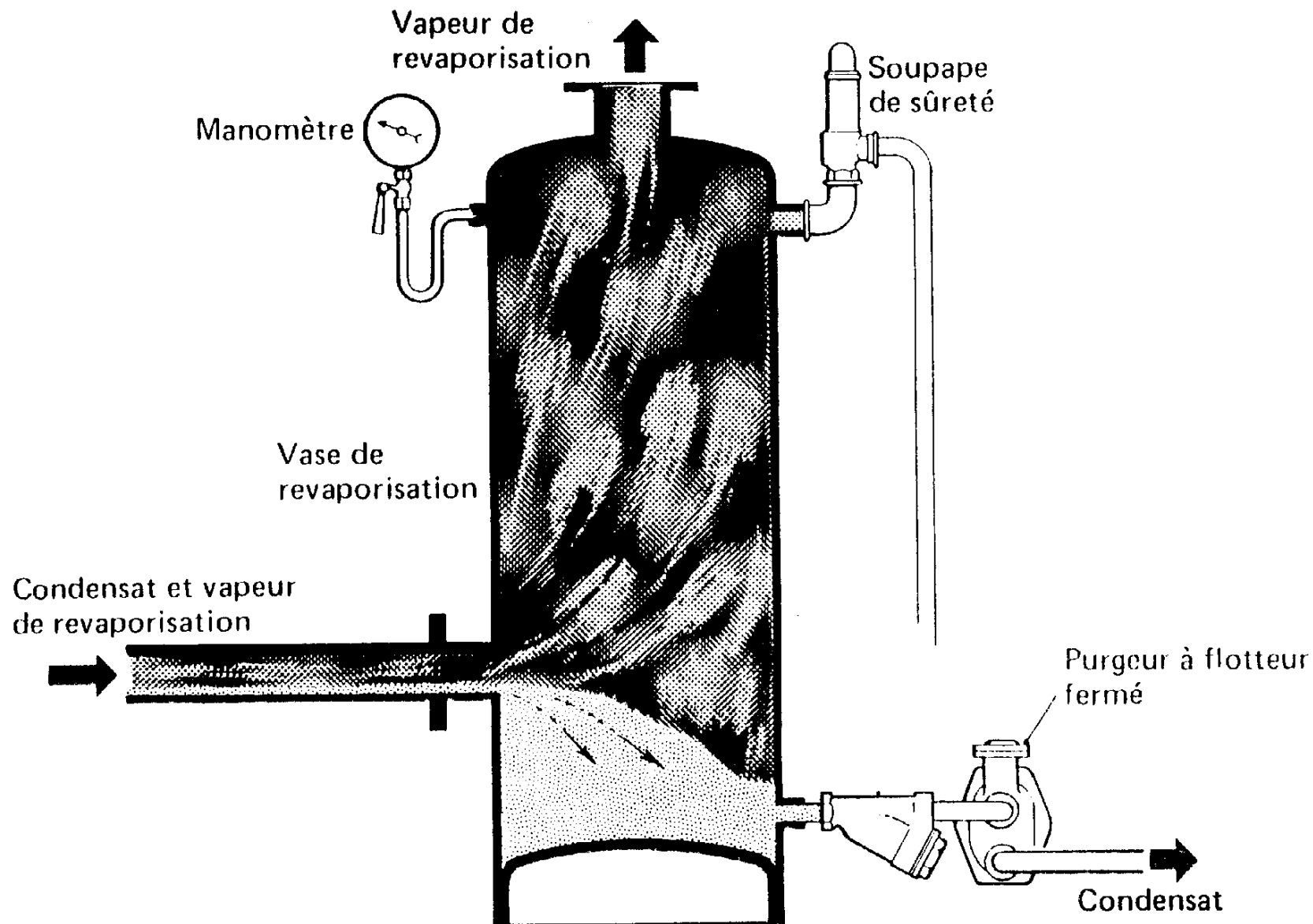
- Les condensats arrivant au purgeur à une pression relative de 7 bars: Enthalpie de 721.40kJ / Kg.
- A une pression relative de 0 bar (100°C) l'enthalpie maximale de l'eau saturée est de 419.0 KJ/Kg.
- La différence est égale à 302.40 Kg/kg.
- Cet excès de chaleur sera absorbé par une revaporisation partielle des condensats.

- La chaleur latente de vaporisation à la pression atmosphérique est de 2257 kJ /kg La quantité de vapeur de détente formée à la pression atmosphérique est **0.134 kg/kg.**
- Si la cuve consomme 1000Kg / h, la quantité de vapeur de détente formée en une heure est de :  
 **$1000 \times 0.134 = 134 \text{ Kg}$**

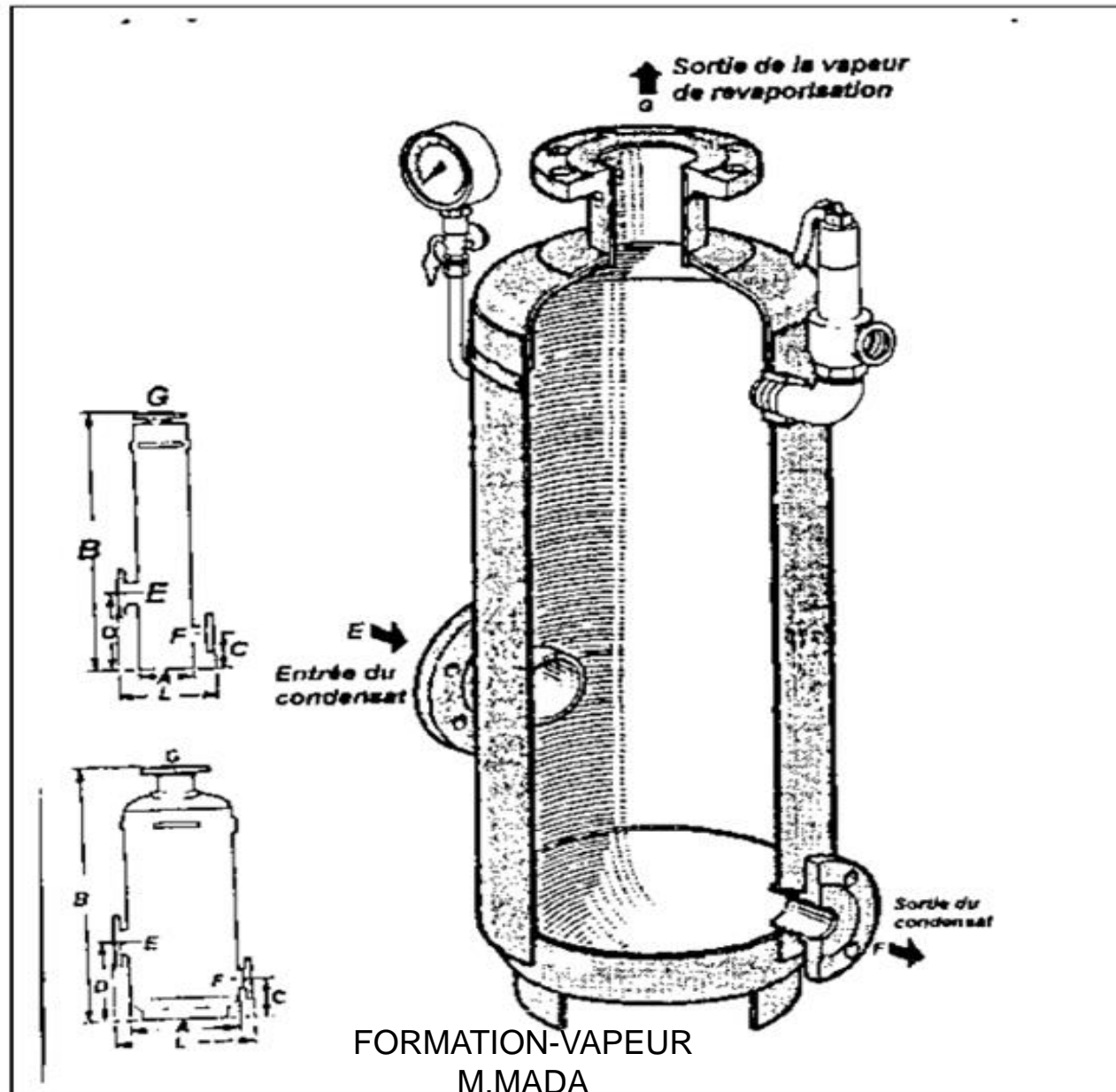


- On peut également déterminer la quantité vaporisée en utilisant directement les abaques de la figure 2. Ces abaques supposent que les condensats sont purgés à la température de saturation correspondant à la pression du réseau.
- Dans le cas de sous- refroidissement des condensats, il est recommandé d'utiliser la première méthode.

# SCHEMA D'UN VASE DE REVAPORISATION



**Figure 4**  
**Spécifications typiques des ballons de séparations**



- Pour réussir la récupération des condensats revaporisés, trois conditions doivent, être respectées:
  - Il est essentiel de disposer des condensant à une pression raisonnable.
  - Il faut que le purgeur soit capable de supporter la contre pression en aval (pression des condensats augmentée de la pression opérationnelle du système de récupération de la vapeur de détente).

- Il faut que l'utilisation de la vapeur à basse pression récupérée soit possible.
- Il faut que le site d'utilisation soit proche de la source de production de cette vapeur (Pb de transport).

